

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA**

**Luciano Maurício Sampaio Barreto**

**IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MPLS NA  
ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

**Rio de Janeiro  
2006**

**Luciano Maurício Sampaio Barreto**

# **IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MPLS NA ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Prof. João Carlos Peixoto de Almeida da Costa, UFRJ, Brasil

**Rio de Janeiro**

**2006**

**Luciano Maurício Sampaio Barreto**

## **IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MPLS NA ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em Janeiro de 2006



---

Prof. João Carlos Peixoto de Almeida da Costa, UFRJ, Brasil

À Rosana, minha esposa, companheira e amiga, pela dura e longa caminhada que, juntos, trilhamos. Aos nossos amados filhos e amigos, Felipe e Camila, orgulho, motivo e alegria de nossas vidas. Aos meus queridos pais, Bernardo e Maria da Conceição, pelo exemplo de vida e por tudo mais que me proporcionaram. À minha avó, Senhora, pela grande admiração e exemplo de amor e vida. Aos sinceros amigos, Sr. Pedro e D. Alice, pelo permanente carinho e atenção dedicados à nos, ofereço esse trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida e pela forma generosa e benevolente como me conduz por ela.

À minha esposa e filhos, que através do apoio, do amor, da compreensão e da confiança fizeram-me ter a certeza do sucesso, ajudando-me a alcançar mais esta etapa de minha vida profissional.

Ao NCE/UFRJ pelo acolhimento e infra-estrutura.

Ao Professor João Carlos Peixoto de Almeida da Costa, pela confiança depositada, incentivo e orientação.

Ao Conselho Federal de Odontologia pela oportunidade de realizar esse meu sonho.

## RESUMO

BARRETO, Luciano Maurício Sampaio. **IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MPLS NA ENGENHARIA DE TRÁFEGO**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

Ao lidar com o crescimento e a expansão da rede, deve-se possuir mecanismos eficazes que possam controlar ocorrências anormais, como o crescimento rápido do tráfego, eventos repentinos e cortes da rede, causadoras de grandes demandas de largura de banda em determinados enlaces e de congestionamentos, em detrimento de outros enlaces, que possuem recursos ociosos. Outro aspecto importante é o aspecto relacionado à manutenção das garantias de QoS dos fluxos de dados ou agregação de fluxos. A engenharia de tráfego, através do MPLS, é uma possível solução na obtenção das melhores técnicas de engenharia de tráfego orientado à conexão.

## **ABSTRACT**

**BARRETO, Luciano Maurício Sampaio. IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MPLS NA ENGENHARIA DE TRÁFEGO.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet).  
Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

When dealing with the growth and the expansion of the nets, it must be possessed efficient mechanisms that can control abnormal occurrences, as the fast growth of the traffic, sudden events and cuts of the net, causers of great demands of determined width of band in you enlace and congestions, in detriment of others you enlace, that they possess idle resources. Another important aspect is the aspects related to the maintenance of the guarantees of QoS of the flows of data or aggregation of flows. The traffic engineering, through the MPLS, is a possible solution in the attainment of the best techniques of engineering of traffic guided to the connection joining it with the power of the router IP.

## Lista de Figuras

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 01–Modelo de Roteamento (Tanenbaum,2003 p.21)                               | 17     |
| Figura 02–Modelo de Roteamento por Rotas Diferentes (Tanenbaum,2003 p. 368)        | 17     |
| Figura 03–Modelo de Sistemas Autônomos (Comer, 1998 p. 279)                        | 21     |
| Figura 04–Modelo de Roteamento EGP(Exterior Gateway Protocol) (Comer,1998 p. 281)  | 22     |
| Figura 05–Modelo de Roteamento IGP (Interior Gateway Protocol) (Comer,1998 p. 298) | 22     |
| Figura 06–Modelo dos Componentes do MultiProtocol Label Switching – MPLS           | 25     |
| Figura 07–Modelo de Procedimentos do MultiProtocol Label Switching – MPLS          | 27     |
| Figura 08–Modelo do Cabeçalho do MultiProtocol Label Switching – MPLS              | 28     |
| Figura 09–Modelo da Localização do Cabeçalho do Rótulo na Camada 2                 | 29     |
| Figura 10–Modelo de Relação de Vizinhos do MultiProtocol Label Switching – MPLS    | 30     |



## Lista de Abreviaturas e Siglas

|       |  |
|-------|--|
| ATM   | Asynchronous Transfer Mode   |
| AS    | Sistemas Autônomos   |
| BGP   | Border Gateway Protocol  |
| EGP   | Exterior Gateway Protocol  |
| FEC   | Forwarding Equivalent Class  |
| IGP   | Internal Gateway Protocol  |
| LDP   | Label Distribution Protocol  |
| LER   | Label Edge Routers   |
| LSP   | Label-Switched Path  |
| LSR   | Label Switching Router   |
| MPLS  | MultiProtocol Layer Switching  |
| OSPF  | Open Shortest Path First   |
| QoS   | Quality of Service   |
| PASTE | Provider Architecture for Differentiated Service Traffic Engineering |
| PVC   | Permanent Virtual Channel  |
| RFC   | Request for Comments   |
| RIP   | Routing Information Protocol   |
| RSVP  | Resource reSeVation Protocol   |
| TCP   | Transmission Control Protocol  |
| TE    | Traffic Engineering  |
| UDP   | User Datagram Protocol   |
| VPN   | Virtual Private Network  |

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>   |    |
| 1.1 Motivação   | 11 |
| 1.2 Objetivos   | 14 |
| 1.3 Delimitações do Estudo                                      | 14 |
| 1.4 Relevância do Estudo  | 15 |
| <b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>                                    | 16 |
| 2.1 Introdução  | 16 |
| 2.2 Roteamento: Termos e Conceitos                              | 16 |
| 2.2.1 Protocolo roteado   | 18 |
| 2.2.2 Protocolo de roteamento                                   | 18 |
| 2.2.3 Sistemas Autônomos  | 20 |
| 2.3 O Protocolo MPLS  | 23 |
| 2.3.1 Histórico   | 23 |
| 2.3.2 Visão Geral do Protocolo                                  | 24 |
| 2.3.3 Componentes do MPLS                                       | 25 |
| a. Label Edge Router, Label-Switched Path e Label Switch Router | 25 |
| b. Forwarding Equivalent Class                                  | 26 |
| 2.3.4 Funcionamento do MPLS                                     | 26 |
| 2.3.5 Aplicações para o MPLS                                    | 31 |
| 2.4 A Engenharia de Tráfego                                     | 32 |
| 2.4.1 Definição   | 32 |
| 2.4.2 Motivações  | 33 |
| 2.4.3 Engenharia de Tráfego antes do MPLS                       | 34 |
| O Protocolo OSPF  | 35 |
| 2.4.4 Engenharia de Tráfego depois do MPLS                      | 36 |
| 2.4.5 Funcionamento da Engenharia de Tráfego em MPLS            | 37 |
| 2.4.6 Manipulação de Métricas x MPLS-TE                         | 39 |
| <b>3 CONCLUSÃO</b>  | 41 |
| <b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                             | 43 |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 – Motivação

A história da mundo sempre foi marcada por invenções, que representam a evolução da espécie humana. Seja na área da saúde, ciência, indústria ou comunicação, revoluções, ao longo dos séculos, trouxeram transformações sociais e políticas importantes à humanidade.

Em especial, a comunicação, com sua instantaneidade evidenciada, pela primeira vez, quando da invenção da imprensa, por Gutemberg, em 1455. O telégrafo de Samuel F. B. Morse, em 1837, o rádio em 1895 e o telefone em 1875 trouxeram a evolução natural e desejada para esta área.

A busca pela comunicação instantânea, somada às tendências verdadeiras de unificação intelectual de nossa espécie, não é um anseio novo da espécie humana, podendo ser constatada através de vários registros na história.

O escritor britânico Wells (apud 1938 Bueno, 2000), em textos que publicou no volume *Word Brain: The Idea of a Permanent Encyclopedia*, demonstra isso. Nele, Wells (op. cit., 1938) descreve como o conhecimento humano poderia ser sintetizado e interligado:

*“A reunião e a distribuição do conhecimento no mundo de hoje são extremamente ineficazes, e pensadores mais progressistas, cuja as idéias neste momento consideramos, estão começando a se dar conta de que a linha de desenvolvimento mais produtiva para a nossa inteligência racial está na direção da criação de um novo órgão mundial para o recolhimento, indexação, resumo e distribuição de conhecimento, em vez de continuarmos a lidar com o sistema altamente conservador e resistente das universidades locais, nacionais e tradicionais que já existem. Esses inovadores, que podem ser sonhadores hoje, mas que pretendem se tornar organizadores bastante ativos amanhã, projetam um órgão mundial unificado, se não centralizado, para reunir mentes do mundo, que não será um rival das universidades, mas uma adição suplementar e coordenadora para suas atividades educacionais – numa escala planetária”*

Bush (apud 1945 BUENO, 2000) após a Segunda grande guerra, escreve no ensaio *“As We May Think”* a seguinte previsão:

*“Formas completamente novas de enciclopédias vão aparecer, já prontas, com uma rede de rastros associativos correndo por ela [...]. O advogado tem o toque de seus dedos as opiniões e decisões de toda a sua experiência e da experiência de amigos e autoridades.. [...] Presumivelmente, o espírito do homem poderia ser elevado se ele pudesse melhor revisar seu passado sombrio e analisar mais completa e objetivamente seus*

*problemas presentes. Ele construiu uma civilização tão complexa que precisa mecanizar seus registros de uma forma mais completa para experimentar sua conclusão lógica e não simplesmente ficar limitado pela sobrecarga excessiva de sua memória limitada. Sua excursão talvez se torne mais agradável se ele puder readquirir o privilégio de esquecer as muitas coisas que não precisa ter imediatamente à mão, com alguma tranqüilidade de que poderá encontrá-las de novo ser for necessário“*

Todos esses pensamentos concretizam-se ao final do século XX, com o surgimento da Internet, que é a evolução da primeira rede de computadores baseada em comutação de pacotes, a Advanced Research Projects Agency (ARPAnet)<sup>1</sup>. Ela não traz nada de intrinsecamente novo – praticamente tudo o que podemos fazer através dela podemos fazer de outra forma. O que modifica é a velocidade e a escala que as trocas de informação ocorrem. Em 1991, com a criação do Word Wide Web (www)<sup>2</sup>, um sistema de hipertextos<sup>3</sup> que tornaria fácil navegar pela internet, dava-se o passo que faltava para a consolidação desta tecnologia. (BUENO, 2000).

Os acessos à rede internet cresceram vertiginosamente. Pesquisa da E-CONSULTING, publicada em Abril de 2003, previa um aumento de 337,5% do número de horas de acesso à rede, se comparados os anos de 1999 e 2004. Outra pesquisa publicada em 2003, pela consultoria CYVEILLANCE, em seu estudo "Sizing the Internet" (Medindo a Internet), constatou que existem atualmente 2,1 bilhões de páginas na rede.

A internet popularizou as interfaces e aplicativos gráficos, exigindo, cada vez mais, bandas de tráfego crescentes, objetivando atender às expectativas de tráfego e dos novos serviços, que incluem voz e vídeo digital (RESENDE, s.d).

No mundo moderno, segundo Resende (op. cit.), a informação é a grande mercadoria e levá-la de um lugar para o outro, sem limitar sua natureza (voz, dado, vídeo, imagem, etc.),

---

<sup>1</sup> Rede de pacote projetada pela ARPA (Advanced Research Projects Agency)

<sup>2</sup> WWW - Sistema de distribuição de informação em hipertexto pela internet. Foi criado no laboratório de Cern, em Genebra, em 1991, pelo físico Tim Berners-Lee

<sup>3</sup> Texto que não forma uma sequência única e pode ser lido em várias ordens.

garantindo segurança, qualidade e rapidez, tornou-se uma exigência do mercado e objetivo das empresas que atuam no mercado de telecomunicações.

Correia, (2002) relata que:

*“Fornecer níveis garantidos de serviços, deverá não somente dispor de tecnologias de hardware mais complexas, mas também de arquiteturas de softwares com mecanismos que deverão atuar desde o nível de aplicação até a camada de enlace. O sistema de roteamento, que é o componente da camada de rede, também deverá evoluir de maneira a atender novos requisitos funcionais, dentre esses, o roteamento de fluxos pode ser empregado para a garantia de níveis mínimos de Qualidade de Serviço (QoS<sup>4</sup>) às aplicações”.*

Surge, então, a engenharia de tráfego (TE<sup>5</sup>), como garantia para estes quesitos. Em sua essência, engenharia de tráfego é a arte de movimentar o tráfego de modo que o tráfego de um enlace congestionado seja movido para a capacidade não usada de um outro enlace (OSBORNE, Eric; SIMBA Ajay 2003). Kamienski e Sadok (2002) afirmam que TE é o processo de arranjar como o tráfego flui através da rede, para que congestionamentos, causados pela utilização desigual desta, possam ser evitados.

Dias et al (2003) mencionam que entre os principais objetivos da engenharia de tráfego pode-se citar a redução do congestionamento, uso mais eficiente dos recursos de rede, satisfação dos requisitos das aplicações e aumento de rendimento da rede. Já para Kamienski e Sadok (op. cit.,2002), é facilitar a operação eficiente e confiável da rede, e ao mesmo tempo otimizar a sua utilização e desempenho, classificando os seus objetivos como:

□ Orientados ao tráfego: incluem os aspectos relacionados à manutenção das garantias de QoS dos fluxos de dados ou agregação de fluxos

---

<sup>4</sup> Classificação de pacotes que permite que um roteador faça a distinção de pacotes pertencentes a diferentes classes de serviço podendo fornecer um certo grau de isolamento entre os fluxos de tráfego, de modo que um fluxo não seja adversamente afetado por outro fluxo, usando recursos da maneira mais eficiente e possível. (KUROUSE, 2003 p.409, 410 e 411)

<sup>5</sup> A engenharia do tráfego é definida como o aspecto da engenharia da rede que trata da avaliação e do desempenho de redes operacionais em IP. Ela abrange a aplicação da tecnologia e de princípios científicos para a medida, a caracterização, modelando e controlando o tráfego da Internet (RFC-3272)

□ Orientados ao recursos: estão relacionados à otimização dos recursos da rede, como impedir que certas partes da rede se tornem congestionadas, enquanto outras permaneçam com recursos ociosos.

Da necessidade desse contexto, surge o protocolo **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**<sup>6</sup> como ferramenta de suporte à TE em redes baseadas em IP, implementando o paradigma da comutação de pacotes. Ele provê as habilidades necessárias para suportar qualquer tipo de tráfego em redes baseadas em IP, sem subordinar-se às limitações dos diferentes protocolos de roteamento, transporte e planos de endereçamento. Além disso, tem sido implementado como ferramenta, objetivando maximizar a utilização dos recursos de rede por meio do balanceamento de tráfego em enlaces e nós.

## 1.2 – Objetivos

Esta pesquisa visa mostrar o MPLS como uma possível solução para implementação da engenharia de tráfego em redes com níveis de serviços assegurados. Nele, são consideradas as aplicações de engenharia de tráfego, aplicações essas, difíceis de serem implementadas ou operacionalizadas em redes IP tradicionais.

*Quais os impactos trazidos pelo MPLS para a engenharia de tráfegos?*

## 1.3 – Delimitações do Estudo

Esta pesquisa limita-se a realçar os problemas enfrentados pela Engenharia de Tráfego em outras tecnologias, em especial o IP, e descrever as vantagens e as desvantagens que o MPLS possui para viabilizar esse controles.

---

<sup>6</sup> Multiprotocol Label Switching: Utilização de rótulos para comutação de pacotes. Integração dos métodos de label switching já existentes em um só padrão não proprietário.

## 1.4 – Relevância do Estudo

Ao lidar com o crescimento e a expansão da rede, deve-se possuir mecanismos eficazes que possam controlar ocorrências anormais, como o crescimento rápido do tráfego, eventos repentinos e cortes da rede, causadoras de grandes demandas de largura de banda em determinados enlaces e de congestionamentos, em detrimento de outros enlaces, que possuem recursos ociosos. Outro aspecto importante é o aspecto relacionado à manutenção das garantias de QoS dos fluxos de dados ou agregação de fluxos.

A engenharia de tráfego, através do MPLS, é uma possível solução na obtenção das melhores técnicas de engenharia de tráfego orientado à conexão, como em ATM<sup>7</sup> (PVC-ATM), mesclando-a com o poder do roteador IP. (OSBORNE, Eric; SIMBA Ajay 2003 p.6).

Esse projeto de pesquisa visa, quanto ao seu objetivo, utilizar uma metodologia exploratória e descritiva dos impactos trazidos pela implementação de Engenharia de Tráfego utilizando-se do protocolo MPLS.

Em decorrência do MPLS ser uma tecnologia nova e da dificuldade em implementar-se um ambiente complexo que possibilite o levantamento de dados empíricos, os trabalhos limitar-se-ão aos meios documentais, bibliográficos e telematizados.

---

<sup>7</sup> ATM - Asynchronous Transfer Mode

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 – Introdução

Neste capítulo, apresentamos a base teórica sobre a qual desenvolvemos a pesquisa. Inicialmente, falamos sobre os termos e conceitos relativos ao roteamento, independente da tecnologia aplicada. Em seguida, fazemos uma dissertação sobre os conceitos fundamentais da tecnologia MPLS e de como a engenharia de tráfego era antes e depois do MPLS. Encerrando, abordaremos a engenharia de tráfego.

### 2.2 – Roteamento: termos e conceitos

Uma rede geograficamente distribuída, WAN<sup>8</sup>, abrange uma grande área geográfica, contendo um grande conjunto de máquinas, cujo o principal objetivo é executar aplicações. Esses hosts são conectados por um conjunto de linhas de transmissão e elementos de comutação, chamados sub-redes de comunicação. Essas sub-redes pertencem à operadora de serviços e possuem, como principal tarefa, o transporte de mensagens de um host para outro host (TANENBAUM, 2003 p.20).

Os elementos de comutação, **roteadores**, são computadores especializados que possuem a capacidade de conectar duas ou mais linhas de dados. Quando os dados chegam a uma das dessas linhas de entrada, o elemento de comutação deverá escolher para qual das linhas de saída, os pacotes deverão ser encaminhados.

Na maioria das WANS, a rede contém inúmeras linhas de transmissão, conectadas aos pares de roteadores. No entanto, se dois roteadores que não compartilham uma linha de transmissão desejarem se comunicar, só poderão fazê-lo de forma indireta, através de outro roteador exigindo vários saltos (hops) **[figura 01]**.

---

<sup>8</sup> Wide Area Network: Redes geograficamente distribuídas. Abrangem grande área geográfica. (TANENBAUM, 2003 p.20)



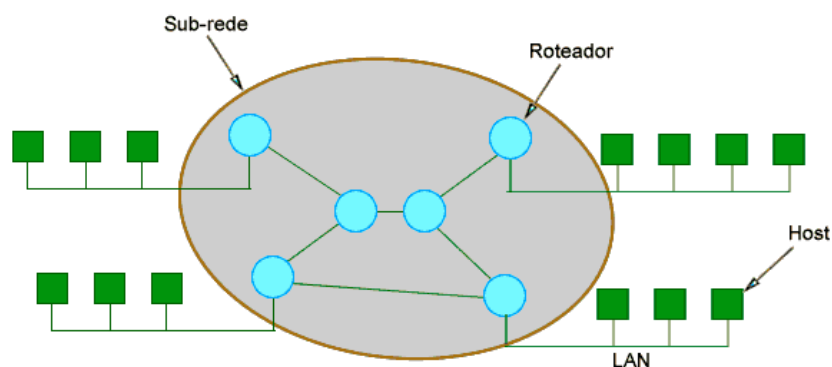


Figura 01 - Modelo de Roteamento

É a camada de rede a responsável pela transferência de pacotes da origem para o destino. Conhecendo a topologia da sub-rede de comunicação, objetiva alcançar o destino com o menor custo possível. Sua principal função é rotear pacotes de hosts de origem para hosts de destino. Essas decisões de roteamento são tomadas em caráter local, utilizando-se de um algoritmo de roteamento. Dependendo do tipo de rede utilizado, os pacotes poderão seguir a mesma rota, ou não, dependendo do algoritmo de roteamento empregado.

Em nosso estudo nos concentraremos nos serviços denominados sem conexão, onde os pacotes serão injetados, individualmente, nas sub-redes e roteados, independentemente, uns dos outros **[figura 02]**. Neste contexto, os pacotes são denominados de datagrama e a sub-rede de sub-rede de datagrama.

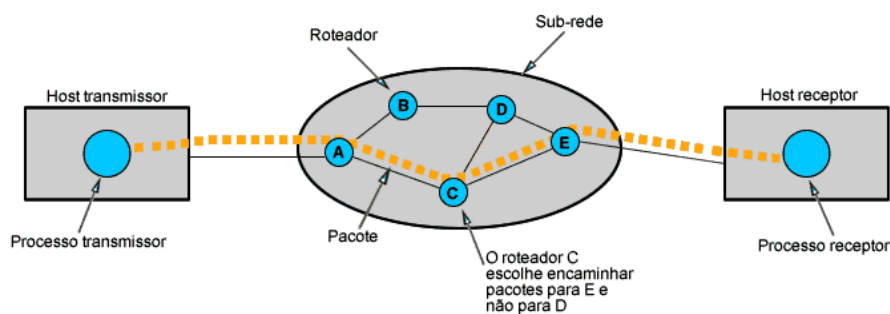


Figura 02 - Modelo de Roteamento por Rotas Diferentes

Os roteadores realizam dois processos distintos: um, denominado encaminhamento, trata os pacotes que nele chegam procurando a interface de saída que será usada, estando sob responsabilidade dos protocolos roteáveis. O outro, responsável pelo preenchimento e pela atualização das tabelas de roteamento, ficam sob a responsabilidade dos protocolos de roteamento.

### **2.2.1 - Protocolo Roteado**

Permitir que o roteador encaminhe dados entre nós de diferentes redes é a função do protocolo roteável. Ele deve propiciar a capacidade de atribuir um número de rede e um número de host a cada dispositivo individual. Alguns protocolos exigem apenas um número de rede, porque usam um endereço MAC de host para o número do host. Outros protocolos exigem um endereço completo, o caso do IP, formado por uma parte da rede e uma parte do host. É exigido, também, uma máscara de rede<sup>9</sup> para diferenciação dos dois números e o endereço de rede é obtido através de uma operação AND do endereço (rede + host) com a máscara de rede.

O Internet Protocol (IP) é a implementação mais utilizada de um esquema de endereçamento de rede hierárquico, sendo um protocolo sem conexão, de melhor entrega possível (best effort) e não confiável pois não há verificação de entrega ao destino que, quando necessário, será verificada e controlada pelos protocolos da camada superior.

### **2.2.2 Protocolo de Roteamento**

Algoritmos de roteamento, segundo Kurose (2004, p.219), são os mecanismos que descobrem um bom caminho entre uma fonte e o destino. Eles são os elementos mais importantes do projeto da camada de rede (TANENBAUM, 2003 p.372).

---

<sup>9</sup> O motivo para a utilização de uma máscara de rede é permitir que grupos de endereços IP sequenciais sejam tratados como uma única unidade.

São usados para trocar tabelas de roteamento e compartilhar informações de roteamento, permitindo aos roteadores direcionarem protocolos roteados. Possuem como principais funções, fornecer processos para o compartilhamento de informações de rota e permitir que os roteadores comuniquem-se uns com os outros para atualizar e manter as tabelas de roteamento.

Podemos dividi-los em duas principais classes: os algoritmos adaptativos, que levam em consideração a situação do tráfego da rede acarretando a possibilidade de roteamento dinâmico e os não adaptativos, onde o roteamento é estático, rota fixa, por não considerar a situação do tráfego da rede.

Exemplos de protocolos de roteamento que suportam o protocolo roteado IP incluem Routing Information Protocol (RIP), Interior Gateway Routing Protocol (IGRP), Open Shortest Path First (OSPF), Border Gateway Protocol (BGP) e Enhanced IGRP (EIGRP).

Para ser considerado um bom algoritmo, este deve possuir as seguintes premissas fundamentais: correção<sup>10</sup>, simplicidade<sup>11</sup>, robustez<sup>12</sup>, estabilidade<sup>13</sup>, equidade<sup>14</sup> e otimização<sup>15</sup> (TANENBAUM, 2003 p.373).

O algoritmo de roteamento, classificado como global, ou também chamado de algoritmo **link-state**, calcula o menor custo entre uma fonte e um destino usando conhecimento completo e global sobre a rede. Nele, roteadores enviam para todos os outros roteadores, o custo para alcançar cada um dos seus vizinhos, encaminhando, imediatamente, mudanças no estado de uma conexão. O algoritmo de roteamento descentralizado, ou também chamado de algoritmo **distance-vector (Bellman-Ford)**, calcula o trajeto de menor custo, de forma interativa e

---

<sup>10</sup> Correção: Ato ou efeito de corrigir(-se).

<sup>11</sup> Simplicidade: Qualidade do que é simples, do que não apresenta dificuldade ou obstáculo.

<sup>12</sup> Robustez: Capaz de aceitar alterações na topologia e no tráfego sem exigir que as tarefas sejam interrompidas.

<sup>13</sup> Estabilidade: Qualidade de estável. Deve alcançar o equilíbrio e permanecer nesse estado.

<sup>14</sup> Equidade: Disposição de reconhecer igualmente o direito de cada um. Ser justo no tratamento do tráfego.

distribuída, pois nenhum nó tem informação completa sobre o custo de todos os enlaces da rede (KUROSE 2004, p.220). Nele, roteadores enviam toda a sua tabela de roteamento, somente, às redes diretamente conectadas.

Outra forma de classificação dos roteamentos é quanto a consideração das rotas. Esses podem ser classificados como estático, quando as implementações são feitas manualmente em função da não ocorrência constante de alterações na topologia, como dinâmicos, quando podem reagir diretamente às mudanças de topologia ou custos de enlace (KUROSE 2004, p.220) e como default quando não há uma rota específica na tabela de roteamento e os pacotes são enviados por essa rota, chamada de rota default.

Após mudanças na topologia, roteadores necessitam reprocessar seus roteamentos. Uma rede é dita convergente quando cada roteador tem informações estabilizadas a respeito de toda a rede, processo que pode variar conforme o tipo de protocolo de roteamento utilizado havendo convergência mais lenta na utilização de algoritmos do tipo distance-vector e convergência mais rápida na utilização de algoritmos do tipo link-state.

Alguns aspectos são relevantes no momento de escolha de uma rota, como por exemplo, a distância, o menor tempo de acesso, os enlaces com baixa utilização e os enlaces sem uso. O protocolo IP considera a menor distância, como o fator de escolha para a suas rotas.

### **2.2.3 Sistemas Autônomos**

Kurose (2004, p.233) aponta que: à medida que o número de roteadores aumenta, aumenta a sobrecarga relativa ao cálculo e ao armazenamento. Consequentemente, a comunicação da informação da tabela de roteamento torna-se proibitiva. A solução técnica para esse problema é agrupar roteadores por região. Esse agrupamento é chamado de sistema

---

<sup>15</sup> Otimização: Determinação do valor ótimo

autônomo (AS)<sup>16</sup> [figura 03]. Em sistemas autônomos, roteadores estão sob uma administração comum, compartilham informações através de um mesmo roteamento e, cada AS, recebe um número único de identificação.

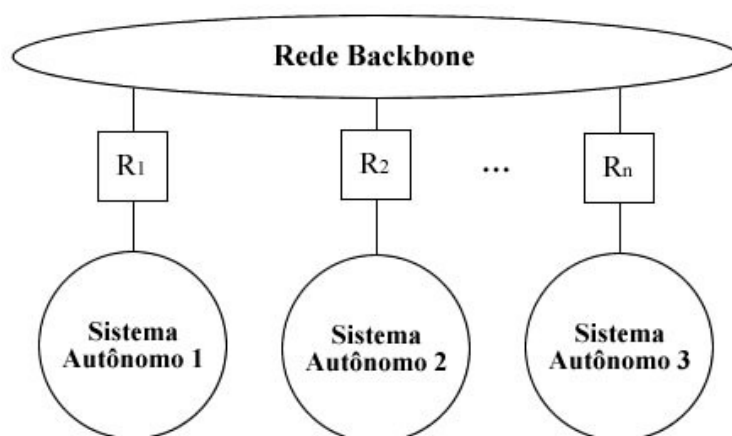


Figura 03 - Modelo de Sistemas Autônomos

Os sistemas autônomos devem se comunicar com outros ASs, utilizando-se dos chamados roteadores de borda<sup>17</sup>. Estes utilizam-se de um protocolo de roteamento chamado Exterior Gateway Protocol (EGP) [figura 04], que deve anunciar a acessibilidade de suas redes para outros sistemas através de troca de informações. Esses roteadores são considerados vizinhos externos pois pertencem a sistemas autônomos diferentes.

<sup>16</sup> Autonomous System (ASs) – são redes independentes que podem possuir diferentes algoritmos de roteamento. Roteadores dentro de um mesmo ASs devem rodar o mesmo algoritmo de roteamento.

<sup>17</sup> Roteadores de borda ou Gateway routers possuem a tarefa de rotear pacotes entre ASs conectadas

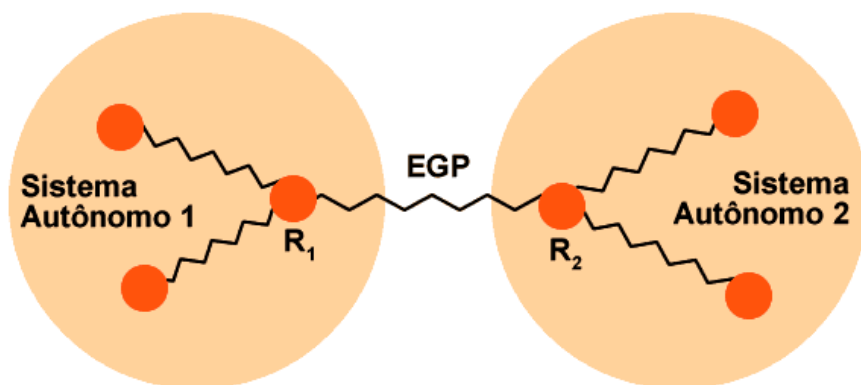


Figura 04 - Modelo de Roteamento EGP

A comunicação dentro das ASs utiliza-se dos chamados Internal Gateway Protocol (IGP) que, em virtude de não haver um padrão único definido, torna-se uma descrição genérica referente a qualquer algoritmo que os roteadores internos usem quando do intercâmbio da acessibilidade e informação de roteamento. (COMER 1998, p.298) [figura 05].

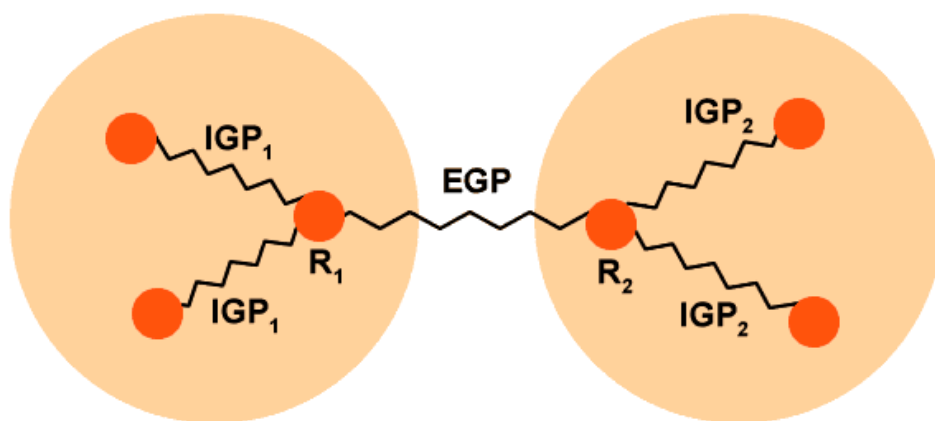


Figura 05 - Modelo de Roteamento IGP

Os principais IGPs implementam os algoritmos de distance-vector ou SPF. Os mais conhecidos são: Routing Information Protocol (RIP<sup>18</sup>) e Open SPF (OSPF<sup>19</sup>), respectivamente.

<sup>18</sup> RIP – Routing Information Protocol – Implementação direta do roteamento distance-vector.

<sup>19</sup> OSPF – implementa o algoritmo de status de enlace

*“Um sistema autônomo é livre para escolher uma arquitetura de roteamento interno, mas deve recolher informações sobre todas as suas redes e designar um ou mais roteadores que fornecerão as informações sobre a acessibilidade para outros sistemas autônomos” Comer (1998, p.280).*

*“Um único roteador pode usar protocolos de roteamento diferentes simultaneamente – um para comunicar-se fora e outro para comunicar-se dentro do sistema autônomo” Comer (op. cit.,1998, p.298).*

## **2.3 – O Protocolo MPLS**

### **2.3.1 - Histórico**

Segundo Will (s.d), o protocolo MPLS é uma tecnologia emergente que, além de possibilitar um aumento de desempenho do encaminhamento de pacotes, facilita a implantação de Qualidade de Serviço (QoS), Engenharia de Tráfego (TE) e Redes Virtuais (VPN).

A Internet Engineering Task Force (IETF) em conjunto com o ATM Fórum, iniciaram o desenvolvimento, a partir do ano de 1995, de propostas que integrassem protocolos baseados em roteamento, como o IP, sobre a estrutura de comutação da tecnologia ATM. Objetivava-se uma rede que oferecesse simultaneamente facilidade de gerenciamento, reserva de largura de banda, requisitos de QoS e suporte nativo a multicast. Desse desenvolvimento surgiram protocolos como, por exemplo, MPOA<sup>20</sup> e I-PNNI<sup>21</sup> (PINHEIRO et al, 2000).

Durante o ano de 1996 algumas empresas de informática apresentaram as primeiras soluções que integravam as vantagens das redes comutadas à família de protocolo IP. O pioneiro nesta tendência foi a Ipsilon, que desenvolveu o IP Switching que utiliza comutadores ATM, determinando fluxos de pacotes com endereços similares e verificando se tais fluxos devam ser roteados ou comutados. A CISCO propôs o Tag Switching , que adiciona a cada pacote de dados um label , chamado tag, permitindo uma transmissão através de circuito virtual. Desta forma, não

---

<sup>20</sup> MPOA – Multiprotocol Over ATM

<sup>21</sup> Integrated Private Network to Network Interface

é necessário uma análise das informações de roteamento a cada etapa do percurso, uma vez que a decisão do próximo nó é baseada apenas no tag e não no conteúdo do cabeçalho dos pacotes.

O MPLS surgiu da necessidade de atender aos requisitos de QoS, confiabilidade e segurança.

### 2.3.2 – Visão Geral do Protocolo

A estruturação através de roteadores é a forma adotada em redes IP, não orientadas a conexão. Um dos fatores benéficos para esta estrutura é que ela permite flexibilidade e organização na distribuição de seus endereços. Porém, quando operadas em taxas altas de tráfego, os roteadores se tornam pontos críticos. Uma solução, largamente aceita, com o objetivo de melhorar a performance de passagem de dados, é o uso de comutadores (ou switches), especialmente através da tecnologia ATM (Asynchronous Transfer Mode). Entretanto, outras formas de agregar as vantagens dos equipamentos de comutação às redes IP têm sido estudadas, sendo uma delas o Multiprotocol Label Switching (MPLS).

O MultiProtocol Label Switching (MPLS) é uma tecnologia que usa o modelo de encaminhamento, baseando-se em troca de rótulos (labels), que podem ser combinados com um conjunto de diferentes módulos de controle, onde cada módulo de controle é responsável por atribuir e distribuir um conjunto de rótulos, assim como manter outras informações de controle relevantes.

Segundo Pinheiro(2000, p.2) “o MPLS propõe um método para gerar uma estrutura de comutação sob qualquer rede de datagramas, criando circuitos virtuais a partir das rotas organizadas pelos protocolos de roteamento da camada de rede. O nível de enlace é preservado, sendo possível aplicar o MPLS a redes Ethernet, ATM, Frame Relay, Token Ring.

A comutação opera por intermédio de software (label swapping), em uma camada que poderia ser considerada intermediária entre o nível de enlace e o de rede. Dessa forma, após gerar um circuito, uma rede MPLS processa o cabeçalho de rede, de um pacote que trafegue nela, apenas no primeiro roteador do caminho. Isto permite que os roteadores IP subsequentes funcionem apenas como gerenciadores dos circuitos de comutação, apresentando uma performance melhor na passagem dos pacotes”.



Segundo Awduche (2002, p.113) “a premissa por trás do MPLS é muito simples: A idéia principal é anexar um pequeno label, de tamanho fixo, ao pacote que entra no domínio MPLS, baseando-se no conceito de classe equivalente ao encaminhamento. Ao longo do interior dos nós do domínio MPLS, o label é usado para as decisões de encaminhamento.”.

### 2.3.3 – Componentes do MPLS

O MPLS possui dispositivos envolvidos em sua arquitetura, como mostra a [figura 06]. Cada um desses dispositivos executa um único protocolo de roteamento IP e são indispensáveis ao processo de mapeamento de rótulos à classe equivalente de encaminhamento ao próximo nó, através de um circuito virtual (RESENDE, s.d p.22).

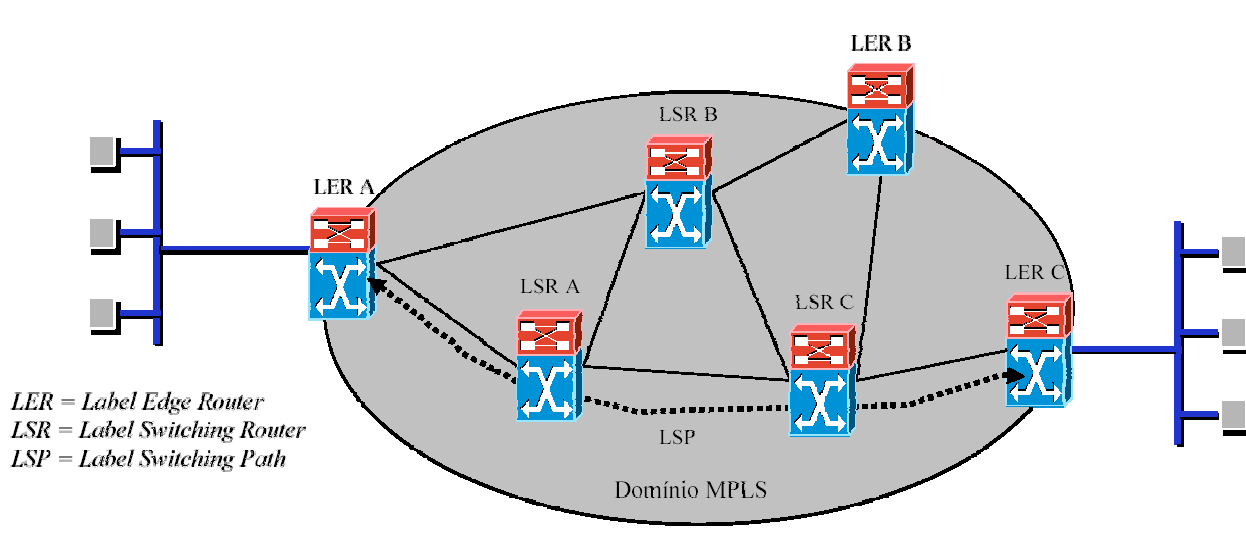


Figura 06 - Modelo dos Componentes do MPLS

#### a. Label Edge Router - LER, Label Switched Path – LSP e Label Switch Router - LSR

Os LERs (Label Edge Router) são dispositivos que atuam nas bordas das redes de acesso a redes MPLS. Suas múltiplas portas lhe dão sustentação para se conectarem aos mais variados tipos de redes existentes e enviarem seus tráfegos sobre redes MPLS. Utilizam-se dos protocolos de sinalização de rótulos, responsáveis pelo estabelecimento e pela remoção dos LSP

(Label Switch Path), distribuindo e removendo o tráfego das redes de acesso nos nós ingresso e egresso.

Os LSPs (Label Switched Path) formam os caminhos que um pacote rotulado faz, através de uma rede, desde a imposição do rótulo até seu descarte.

Os LSRs (Label Switch Router) são dispositivos para roteamento de alta velocidade, localizados no núcleo da rede MPLS, participando ativamente no estabelecimento de LSPs, usando o protocolo de sinalização de rótulo, e no encaminhamento de tráfego, baseado nos trajetos estabelecidos. Em qualquer rede MPLS, um roteador que suporta tal técnica, será um LSR.

### **b. Forwarding Equivalence Class - FEC**

A FEC (Forwarding Equivalence Class) é qualquer conjunto de prioridade que mapeia os pacotes que chegam a um mesmo rótulo na saída. Esse critério pode mudar, quando os pacotes são roteados usando critérios diferentes dos que levam em consideração apenas endereço IP de destino. Como exemplo, temos os valores de precedência IP (bits DSCP) ou o número da porta de destino.

## **2.3.4 – Funcionamento do MPLS**

A simples decisão em um roteador, como por exemplo o nó para onde um datagrama deverá ser encaminhado, utiliza-se de uma quantidade desnecessária de informações, acarretando um retardo considerável, decorrente da análise independente do cabeçalho de cada datagrama, conforme os algoritmos de roteamento utilizado (ROSENE et al, RFC 3031, 2001).

Nesse contexto, a tecnologia MPLS propõe procedimentos que permitem que datagramas sejam transportados em qualquer rede. O primeiro procedimento classifica todos os pacotes ingressantes em uma FEC. O segundo, escolhe que interface, associada à FEC, será

utilizada para envio dos datagramas aos LSR intermediários. Esse procedimento leva em consideração as informações de roteamento trocadas entre LSR e as demais informações de controle, localizadas no Plano de Controle<sup>22</sup>.

Pacotes pertencentes a mesma FEC serão igualmente tratados nos nós intermediários do percurso e seguirão exatamente o mesmo caminho. O MPLS cria um paradigma de orientação à conexão em redes IP [figura 07].

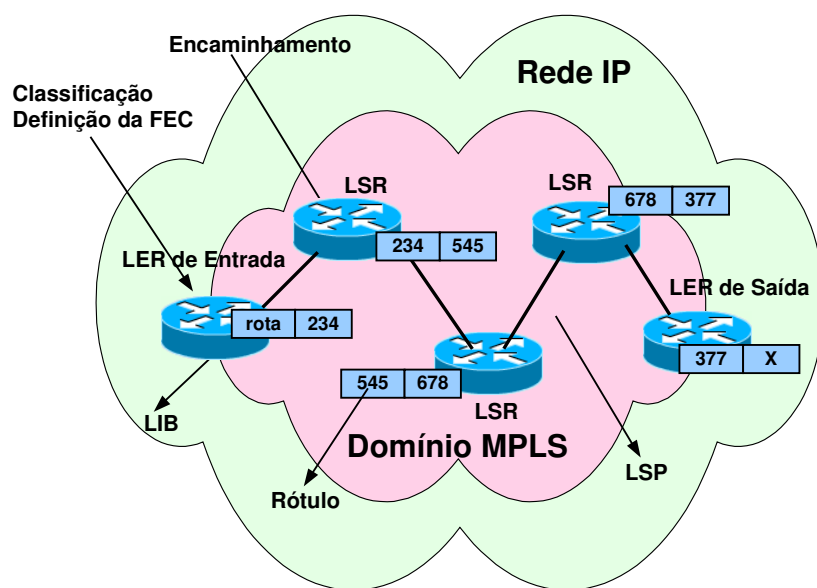


Figura 07 - Modelo de Procedimentos do MPLS

A atribuição de pacotes, com endereços de destinos variados, a um conjunto mínimo de FECs deve ser realizada apenas uma vez, assim que o pacote adentrem a rede MPLS através de um LER. Tal atribuição usa um **label**, também chamado **rótulo**, que possui legibilidade local e é único, identifica uma determinada FEC e desempenha a função de indexador de todas as decisões em relação ao encaminhamento do pacote. Possui tamanho fixo de 20 bits, podendo chegar até 32 bits [figura 08], dependendo do seu contexto de uso<sup>23</sup>. Colocado no cabeçalho de

<sup>22</sup> Onde a informação de roteamento e outras informações de controle, como vínculo de rótulo, são trocadas entre os LSRs. A troca de informações de controle precisa existir antes que o primeiro pacote de dados possa ser encaminhado. (OSBORNE, Eric; SIMBA Ajay 2003 p.26). Segundo Awduches (Awduches, B.; Jubbari, L. 2002 p.115) "plano de controle é uma coleção de protocolo que coletivamente estabelecem a funcionalidade no nível de rede em uma rede MPLS."

<sup>23</sup> A diferença de 12 bits refere-se aos bits adicionais compostos por CoS, S e TTL.

cada pacote, passa a ser a única informação verificada na rede no decorrer do envio, permitindo o desacoplamento entre roteamento e encaminhamento. O processo de verificação do label e a passagem do pacote para o próximo nó recebem o nome de **label swapping** e são executados pelo Plano de Encaminhamento. Neste processo, busca-se o label correspondente na tabela de labels da máquina, para indicar o próximo nó, para a qual o pacote deve ir, bem como o próximo label que ele deve possuir. Os valores dos labels usados para trafegarem os pacotes de uma FEC, portanto, não são constantes e mudam de nó para nó.

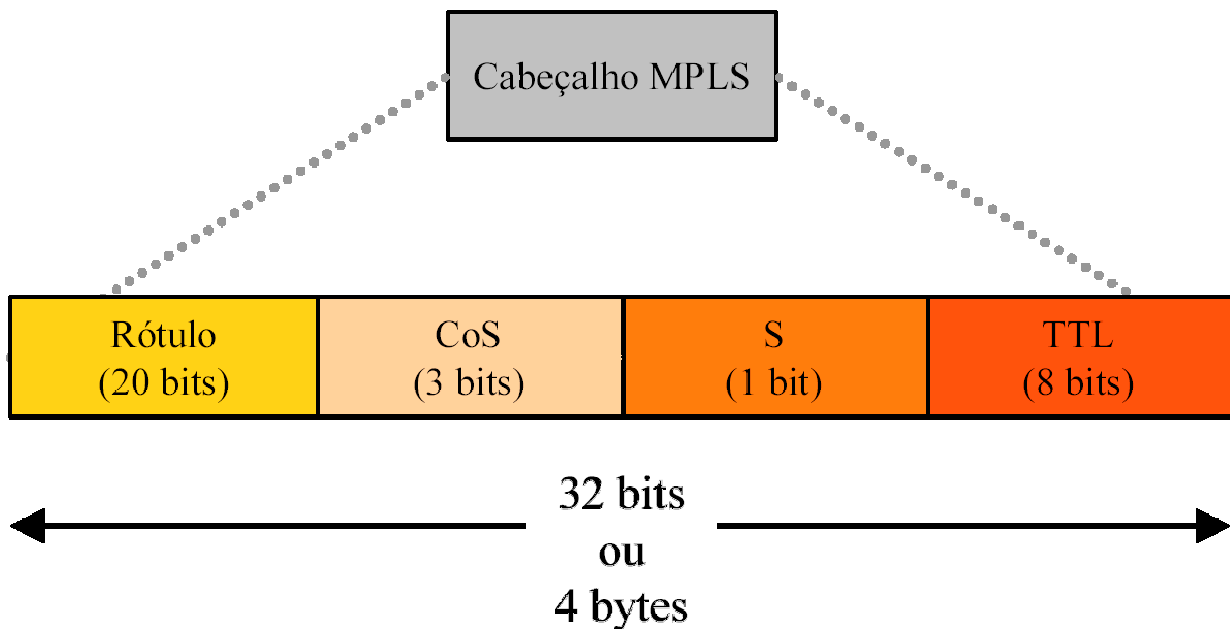


Figura 08 - Modelo do Cabeçalho do MPLS

- ❑ Campo Rótulo (20 bits): transporta o valor atual do rótulo MPLS;
- ❑ Campo CoS (03 bits): pode afetar a fila e aplicar algoritmos para descarte de pacotes, além de especificar como será transmitido através da rede;
- ❑ Campo Stack (01 bit): suporta a hierarquia de empilhamento de rótulo;
- ❑ Campo TTL (08 bits): Time-to-Live, provê a funcionalidade TTL, do IP

Uma outra função que pode ser agregada ao label, diz respeito à determinação da “precedência” ou “classe de serviço” de um dado pacote, permitindo a aplicação de políticas de

prioridades. No MPLS, o roteador não analisa o cabeçalho dos pacotes para estimar precedência ou classes de serviço. Ao invés disso, verifica-se a que classe de serviço ou precedência as FECs dos pacotes pertencem, precedência esta indicada pelos labels. Neste sentido, pode-se considerar que o label assume a função de indicar, simultaneamente, rotas e classes de serviço de um pacote.

O termo “*Multiprotocol*”, em MPLS, significa que esta tecnologia pode ser usada sob qualquer protocolo de rede. Naturalmente, considerando a Internet e a importância de seus protocolos nas várias WANs públicas e privadas, tem-se aplicado o estudo e a implementação do MPLS basicamente para redes IP.

Após um pacote receber um label, ele passa a pertencer a uma FEC e pode ser comutado. A atribuição de um label pode ser feita em um campo do pacote que tenha sido criado especificamente para esta finalidade ou em um campo qualquer já existente no cabeçalho de rede ou de enlace, desde que esteja disponível, como demonstra a localização do label MPLS no cabeçalho das camadas de enlace, de rede ou entre o cabeçalho destes níveis. [Figura 09].

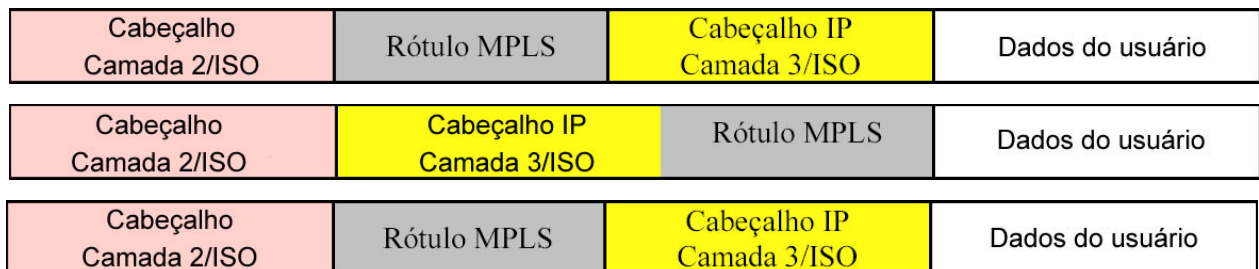


Figura 09 – Modelo da Localização do Cabeçalho do Rótulo na Camada 2

Quando dois LSRs concordam em usar um label qualquer para indicar a transmissão de um para o outro, com relação a uma FEC, o LSR emissor será considerado estar “*upstream*”<sup>24</sup>, na transmissão, e o LSR receptor será considerado estar “*downstream*”<sup>25</sup>. Em suas especificações, a determinação do label sempre será feita pelo LSR downstream no caminho do

<sup>24</sup> UpStream, por definição, refere-se a um roteador que está mais próximo da origem de um pacote, em relação a outro roteador

<sup>25</sup> DownStream, por definição refere-se a um roteador que está mais distante da origem de um pacote, em relação a outro roteador.

pacote. A escolha do label pode ser feita segundo uma requisição do LSR upstream ou diretamente através de iniciativa do LSR downstream no envio do pacote.

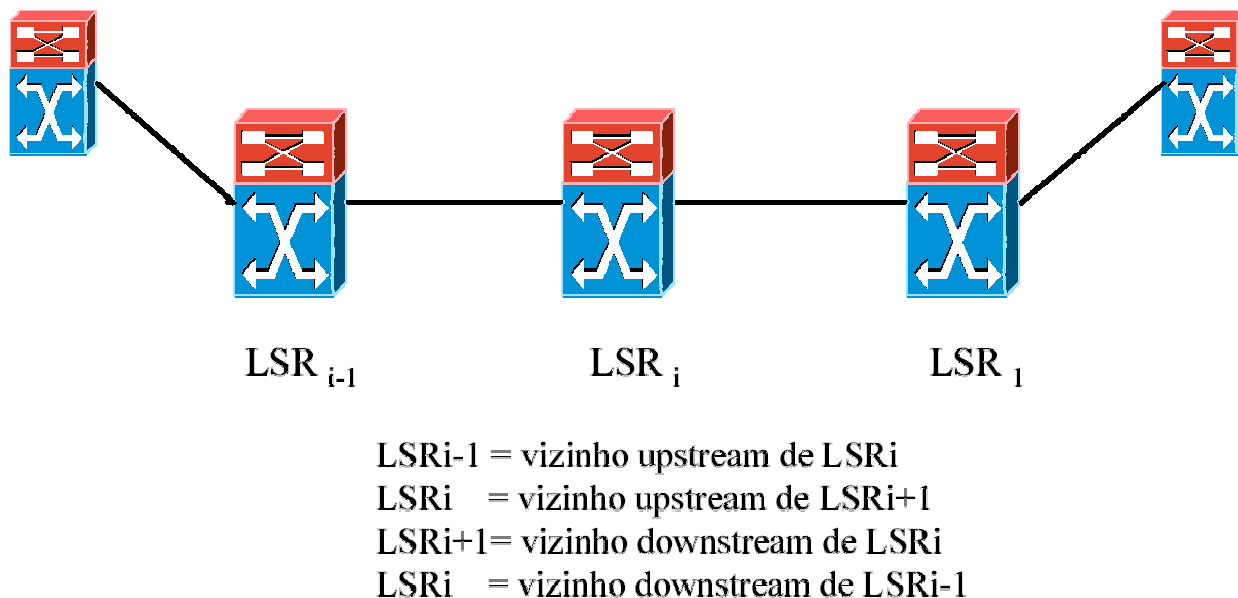


FIGURA 10 – Relação de Vizinhos no MPLS

Os protocolos de distribuição de label, Label Distribution Protocol-LDP e Resource ReSerVation Protocol-RSVP, são responsáveis pela troca de mensagens entre os LSRs, no sentido de gerar as tabelas de labels. Cada vez que se vincula um label a uma FEC, este passa a ter certos atributos que são definidos também pelo protocolo de distribuição. O LDP é o protocolo de distribuição de rótulos baseado em padrões, sendo o protocolo mais utilizado para a montagem de um núcleo MPLS. Ele usa pacotes de multicast UDP para descobrir vizinhos conectados diretamente, os quais, assim que descobertos, usam-se do TCP para a troca de vínculos de rótulos. O LDP também pode ser configurado para vizinhos não adjacentes, recebendo o nome de sessão LDP direcionada. Este possui quatro funções principais: descoberta de vizinhos, estabelecimento e manutenção de sessão, anúncio de label e notificação. Já o RSVP é um mecanismo de sinalização usado para reservar recursos através de uma rede, não sendo

considerado um protocolo de roteamento, pois qualquer decisão de roteamento será feita pelo IGP. Sua única tarefa é sinalizar e manter reservas de recurso (largura e banda), periodicamente, pois é um protocolo com estado flexível. Este possui três funções básicas: configuração e manutenção de caminho, encerramento de caminho e sinalização.

O MPLS possui duas formas, nas quais se baseará para definir qual será a rota durante o processo de criação do LSP para uma FEC. A primeira forma é a ***análise do cabeçalho do pacote em todos os roteadores do percurso***. Esta é semelhante ao procedimento de roteamento do modelo IP tradicional, conhecido como roteamento hop-by-hop, diferenciando-se pelo fato de que o MPLS analisa apenas o rótulo. A Segunda, ***criação explícita de um LSP normalmente a partir do LSR de ingresso ou egresso***, determina explicitamente quais são os LSRs do caminho e por onde passarão os pacotes (RESENDE, s.d p.31).

Ao criar explicitamente uma rota, o MPLS propicia também, QoS e TE, através da geração de rotas e re-roteamento de tráfego com base em diversos fatores como disponibilidade de largura de banda, taxa de perda de pacotes, carga na rede ou qualquer outro fator necessário a manter um bom nível de QoS. O MPLS pode, também, utilizar-se de outro método para a produção de QoS baseando-se em critérios de classificação de fluxo com informações a respeito de origem e destino de pacote IP, número da porta do protocolo TCP/UDP, bits TOS do pacote IP – DIFFSERV, ou através de reserva de recursos com o protocolo RSVP.

### **2.3.5 Aplicações para o MPLS**

Atualmente existem duas aplicações para o MPLS em redes de provedores de serviço da Internet visando garantir um bom funcionamento das aplicações: Redes Virtuais Privadas (VPN) e Engenharia de Tráfego (TE).

Rede Virtual Privada, camadas simplesmente de VPN, é um recurso muito utilizado pelas empresas que buscam alternativas para solucionar limitações de infra-estrutura de redes privadas corporativas. Ela possibilita minimizar custos e maximizar os recursos tecnológicos, sendo uma solução simples, flexível e poderosa no processo de tunelamento oferecido pelos ISPs. Segundo Resende (Resende, s.d p.33), para se criar uma VPN os fatores de compatibilidade, disponibilidade, interoperabilidade e segurança devem ser analisados.

Os túneis VPNs podem ser estáticos, quando permanecem ativos por um longo período de tempo, sendo a forma mais indicada para VPNs site-para-site ou, também, podem ser dinâmicas, quando são ativadas apenas quando requer tráfego, sendo indicada para VPNs cliente-para-lan.

Segundo Muthukrishnan (apud 2000 RESENDE, s.d), tunelamento no MPLS atende bem as necessidades. Tal fato consiste em encapsular os pacotes no nó de origem e transmiti-los, via Internet, através do LSP, denominado túnel, até o nó de destino, onde vai acontecer o desencapsulamento. Este desencapsulamento protege a informação dos usuários não-autorizados, utilizando-se das técnicas de criptografia.

Já a Engenharia de Tráfego, objetivo principal desse trabalho, será vista com mais detalhes no tópico 2.4.

## **2.4 – A Engenharia de Tráfego**

### **2.4.1 Definição**

Em decorrência do protocolo IP oferecer base para serviços sem conexão, roteadores não podem reservar recursos de comunicação antes do recebimento dos datagramas. Como



consequência, os roteadores passam a ficar sobrecarregados com o tráfego, havendo comprometimento de seus rendimentos. Esta condição, chamamos de congestionamento.

É importante destacar que o congestionamento pode resultar de duas causas completamente diferentes: na primeira, computadores de alta velocidade podem gerar tráfegos mais rapidamente do que a rede pode transportá-los. Na segunda causa, quando muitos computadores precisarem enviar, simultaneamente, datagramas por intermédio de um mesmo roteador. Estes problemas podem ser resolvidos através da aplicação de técnicas clássicas de controles, bem como, através de políticas de balanceamento de carga.

Surge, então, a engenharia de tráfego. Ela possibilita o controle do fluxo de tráfego na rede, com o objetivo de reduzir problemas de congestionamento e conseguir uma utilização mais homogênea dos recursos disponíveis.

Para Resende (s.d. p.35) *“a engenharia de tráfego é a tarefa de realizar o mapeamento dos fluxos de tráfego em uma infra-estrutura física de transporte, de modo a atender critérios definidos pela operação da rede.”*

A TE pode ser feita manualmente ou usando algum tipo de técnica automatizada, inclusive o MPLS e/ou Roteamento com QoS, para descobrir e fixar os caminhos mais adequados à determinadas agregações de fluxo dentro da rede.

## 2.4.2 Motivações

Segundo Pereira (2004 p.1), *“Medidas realizadas na Internet indicam que, para quase 80% dos caminhos roteados, existem caminhos alternativos que oferecem maior largura de banda e menor atraso. As prováveis razões para não utilização destes caminhos alternativos, de qualidade superior, são a adoção de políticas pobres de roteamento inter-domínios ou de protocolos de roteamento intra-domínios inadequados”*

Embora o escopo da Engenharia de Tráfego seja geral e cercado de aplicações de tecnologia e princípios científicos para a mensuração, modelagem, caracterização e controle do tráfego Internet, o aspecto supremo da TE, em provedores de serviço de rede, é o transporte de tráfego IP até a sua entrega, da maneira mais eficiente, econômica e segura. Sua principal

dificuldade tem sido a limitada capacidade das tecnologias IP, atinente ao controle de tráfego, ao controle de recurso e a sua mensuração. Outro aspecto importante a salientar é quanto a inabilidade em determinar uma matriz de tráfego para redes IP, dificultando a otimização do desempenho de uma rede.

Na ausência de um efetivo controle sobre o roteamento de tráfego, qualquer aspiração objetivando otimização de performance em redes e provisionamento de QoS será enganoso, em função do roteamento possuir substancial influência em várias “*chaves*” de mensuração de performance em redes, como congestionamento, throughput, delay e a utilização de recursos. Portanto, a Internet será um ambiente best effort (melhor esforço), sem a introdução de capacidades mais sofisticadas de controle de roteamentos.

### **2.4.3 Engenharia de Tráfego antes do MPLS (MPLS-TE)**

A Internet pode ser modelada, hoje, como uma grande coleção de Sistemas Autônomos (AS) que comunicam-se uns com os outros, utilizando-se de protocolos do tipo EGP (Exterior Gateway Protocol). Cada AS, em seu interior, utiliza-se de protocolos do tipo IGP (Interior Gateway Protocol), como por exemplo o OSPF, usados para difundir informações de alcançabilidade e de roteamento em um AS. Estes protocolos selecionam rotas para roteamento baseando-se em pesos estáticos para cada link. Roteadores usam os protocolos para trocar o peso da ligação e construir uma visão completa da topologia dentro do AS.

Essa estrutura básica parece não ser flexível o suficiente para suportar engenharia de tráfego em redes IP. Primeiro, os IGPs são limitados aos cenários de distribuição, que podem ser especificados com um único peso em cada ligação. Em segundo, em sua forma básica, o OSPF não adapta o peso do link em resposta às mudanças no tráfego ou às falhas em elementos da rede.

O processo de escolha de rotas não está diretamente incorporado aos objetivos de performance, além da seleção de um trajeto, o mais curto.

Para Osborne (2003 p.6), a engenharia de tráfego, utilizando-se do protocolo IP, apesar de muito popular, não possui recursos suficientes, sendo controlada através da mudança de custo de um enlace específico. Nela, não há maneira de controlar o tráfego com base no host de origem, sendo somente controlada com base no endereço do host de destino, apesar de haver roteadores que utilizam os endereços do host de origem . Apesar de válido e utilizado, esse tipo de engenharia de tráfego apresenta alguns problemas que não podem ser solucionados.

### **O Protocolo OSPF (Open Shortest Path First)**

O OSPF (Open Shortest Path First) por ser o protocolo mais comumente usado em roteamento intra-domínio é usado para solucionar os caminhos pelos quais o tráfego é roteado.

Ele foi definido pela RFC 2328 e é o protocolo de roteamento interior empregado no contexto das AS. Este oferece possibilidades bastante amplas, tais como fluxo balanceado e atribuição de peso no intervalo [1, 65535] sem restrição de tamanho máximo de rota.

Segundo COMER (1998, p.309), o OSPF inclui o roteamento por tipo de serviço, possibilitando a instalação de várias rotas em um destino específico, uma para cada tipo de serviço. Ele figura entre os primeiros protocolos da família TCP/IP a oferecer roteamento por tipo de serviço.

Outra implementação bastante importante à engenharia de tráfego é que o OSPF fornece balanceamento de carga, possibilitando a distribuição igualitária do tráfego, através das rotas possíveis, desde que especificado determinado destino ao mesmo custo.

Recentes atividades tem proposto extensões de engenharia de tráfego para OSPF, a fim de incorporar a informação sobre o tráfego dentro do link-state nas decisões da seleção de trajeto.

Entretanto, estas extensões requerem modificações nos roteadores para coletar e disseminar informações sobre a carga da rede e calcular o trajeto baseando-se nas métricas de carga.

#### **2.4.4 – Engenharia de Tráfego depois do MPLS (MPLS-TE)**

Os fundamentais requisitos para a Engenharia de Tráfego, sobre o MPLS, estão descritos na RFC 2702.

Segundo Awduche (s.d, p.119), a motivação para a TE em MPLS pode ser justificada pelas limitações dos protocolos de roteamento IP, nos quais as definições de rotas baseiam-se apenas no uso de métricas sem considerar as restrições da rede, como disponibilidade de recurso e características de tráfego.

A TE tornou-se a principal aplicação do MPLS, pois possibilita o controle do fluxo de tráfego na rede, objetivando reduzir problemas de congestionamento, conseguindo uma utilização homogênea dos recursos disponíveis (RESENDE, s.d p.32). Para realizar esse objetivo, TE aplica princípios tecnológicos e científicos para medição, modelagem, caracterização e controle do tráfego.

Seus atrativos surgiram pelo fato do MPLS-TE prover capacidades equivalentes, muitas vezes superior aos *modelos overlay (IP/ATM ou IP/FR)* em função de: i) haver poucos elementos de rede; ii) baixo custo operacional; iii) grande confiabilidade em função da pouca existência de elementos de rede ao longo do trajeto distribuído; iv) potencial de latência menor; e v) arquitetura de rede simplificada.

Osborne (2003 p.11) expõe que a tecnologia MPLS-TE<sup>26</sup> combina as capacidades da engenharia de tráfego do ATM com a flexibilidade e a diferenciação de classes de serviço do IP. Este permite a criação de LSPs<sup>27</sup> através de sua rede, por onde o tráfego será encaminhado.

*“Assim como os VCs<sup>28</sup> ATM, LSPs MPLS-TE permitem que a ponta inicial de um túnel TE controle o caminho pelo qual seu tráfego passará até um destino específico. Esse método é mais flexível do que o encaminhamento de tráfego com base apenas no endereço de destino. Ao contrário dos VCs ATM, a natureza da MPLS-TE evita os problemas de inundação  $O(N^2)$  quando ocorre interrupção de enlaces e, também, inundações  $O(N^3)$ , apresentados pelo ATM. Em vez de forma adjacências sobre os próprios LSPs TE, MPLS-TE utiliza um mecanismo chamado rota automática para montar uma tabela de roteamento usando LSPs MPLS-TE sem formar uma malha completa de vizinhos de roteamento”* (OSBORNE, Eric; SIMBA Ajay 2003 p.11).

Como o ATM, o MPLS-TE reserva largura de banda na rede quando monta LSPs. Em contrapartida, não há, como no ATM, imposição de plano de encaminhamento de uma reserva sendo feita apenas no plano de controle.

## 2.4.5 – Funcionamento da Engenharia de Tráfego em MPLS

Sendo a principal aplicação do MPLS, a Engenharia de Tráfego possibilita o controle de fluxo de tráfego na rede objetivando, além da redução dos problemas de congestionamento, a utilização de forma mais homogênea possível dos recursos disponíveis na rede.

O IETF possui duas propostas para a MPLS-TE. Segundo Elwalid (apud 2001 RESENDE, s.d. p.32), a primeira é denominada Engenharia de Tráfego Adaptativa com MPLS (MPLS Adaptive Traffic Engineering – MATE), que visa estabelecer múltiplos LSPs entre uma determinada origem e um determinado destino empregando-se roteamento explícito para o estabelecimento deste caminho, seja ele através do LDP ou do RSVP. O LSR, de ingresso, pode então distribuir o tráfego através dos diversos LSPs, balanceando o tráfego da rede e possibilitando a equalização no uso dos recursos. Conforme Li (apud 1998 RESENDE, s.d. p.32) a segunda proposta é uma Arquitetura para Provedores de Serviços Diferenciados e Engenharia

---

<sup>26</sup> Engenharia de Tráfego com MPLS

<sup>27</sup> Label-Switched Path

de Tráfego (PASTE<sup>29</sup>) para os ISPs usando o MPLS e o RSVP para criar uma arquitetura escalável da gerência do tráfego que suporte serviços diferenciados.

Essas técnicas de Engenharia de Tráfego possibilitam observar benefícios aos ISPs tais como minimização dos pontos de congestionamento, facilidades de re-roteamento dos fluxos em caso de falhas diminuindo perdas de pacotes, atrasos e “jitter”.

A maximização do desempenho, no MPLS-TE, possui dois aspectos de desempenho importantes: os orientados ao tráfego e os orientados a recursos:

- ❑ *Desempenho Orientado ao Tráfego*, incluem aspectos relacionados à manutenção das garantias de QoS, aos fluxos de dados ou agregação de fluxo. Quando em classe única, *best-effort*, o desempenho orientado ao tráfego inclui a minimização da perda de pacotes, minimização de delay, a maximização de throughput e a execução de acordos de níveis de serviços (SLAs). Minimização de perdas de pacotes é um dos mais importantes objetivos do desempenho orientado ao tráfego;
- ❑ *Desempenho Orientado aos recursos*, estão relacionados à otimização dos recursos da rede, geralmente desejável, para garantir que parte dos recursos da rede não se torne supra-utilizados e congestionados enquanto outras permaneçam ociosas.

Em ambos os aspectos, minimização de congestionamento é um dos objetivos mais importantes e o seu interesse foca problemas de congestionamentos prolongados ao invés de congestionamentos passageiros que resultam, muitas vezes, de rajadas instantâneas. A obtenção destes objetivos serão atingidos através de um gerenciamento eficiente destes recursos de rede.

---

<sup>28</sup> Circuito Virtual

<sup>29</sup> Provider Architecture for Differentiated Service and Traffic Engineering

Dois cenários são os responsáveis pelos congestionamentos: quando os recursos de rede são insuficientes ou inadequados para suportar a carga oferecida ou quando os fluxos de tráfegos são ineficientemente mapeados sobre os recursos disponíveis. O primeiro problema pode ser resolvido, segundo Awduche (2001), através da expansão do poder computacional ou através da aplicação de técnicas clássicas de controle de congestionamento. O segundo problema poderá ser solucionado através da Engenharia de tráfego.

São três os problemas fundamentais da Engenharia de Tráfego sobre MPLS: como mapear o tráfego ingresso em FECs, como mapear FECs em troncos de tráfego e como mapear tronco de tráfegos sobre a topologia de uma rede física através de LSPs (AWDUCHE,D., 2001). Estes problemas poderão ser solucionados através de um conjunto de atributos associados ao tronco de tráfego que, coletivamente, especificam suas características comportamentais, em conjunto de atributos associados com recursos que restringem a colocação de troncos de tráfego entre eles.

#### **2.4.6 – Manipulação de Métricas x MPLS-TE**

O protocolo de rede IP exhibe pouca eficiência, porque o único mecanismo para redirecionar tráfego é a troca de métricas dos links IGP, como por exemplo OSPF. Porém, mudanças de métricas no link podem potencializar mudanças de rotas para os pacotes que atravessam o link. Esse método não provê redundância dinâmica e não considera as características de oferta de tráfego nem as limitações de capacidade rede quando fazem roteamento.

Em redes MPLS-TE, algum LSP pode ser dinamicamente mudado de uma rota congestionada para uma rota alternativa. Isto representa um eficiente recurso sobre o método tradicional de operação para redes IP, porque a gerência de rede pode funcionar na mais alta

capacidade sobre circunstâncias normais, proativamente em relação a possíveis ocorrências de congestionamento. Além disso, gerentes de rede podem fazer uso dos algoritmos otimizados que provêem mapeamento de demanda de tráfego para links físicos, os quais caso contrário, não poderiam ser alcançados usando otimização local. O resultado final é que um provedor de serviço pode alcançar um grau muito mais alto de utilização de vínculo através da rede, provendo, assim, serviços a um custo mais baixo.

MPLS-TE permite prover serviços para definir rotas explícitas, semelhantes aos itinerários de origem, guiando o tráfego destes itinerários, explicitamente redundantes, podem ser configurados, provendo assim um mecanismo de *fallback*. Um *fallback* final pode ser configurado, tipicamente, como um itinerário dinâmico selecionado pelo IGP.



### 3 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram focados os problemas decorrentes da importância do desempenho em redes, especialmente na rede Internet. Esta necessidade surgiu proveniente do aumento expressivo do seu número de usuários, o tamanho e a quantidade de dados enviados e, principalmente, da criticidade dos serviços oferecidos pela rede Internet. Salientamos que os sistemas de roteamento devem evoluir de maneira a viabilizar a automação das ações de desempenho de forma pró-ativa dispondo de infra-estrutura de elevada capacidade e pequena latência, de forma flexível e escalável e que permita oferecer Qualidade de Serviço diferenciada.

Mostramos que a Engenharia de Tráfego é a principal aplicação para viabilização destas necessidades pois possibilita o mapeamento dos fluxos de tráfego em uma infra-estrutura física de transporte atendendo critérios definidos pela operação de rede possibilitando a minimização dos pontos de congestionamento da rede, a facilidade no re-roteamento dos fluxos em casos de falha e a diminuição da perda de pacotes. Desta forma o tráfego é distribuído de forma equilibrada na rede obtendo-se a eficiente utilização dos recursos, evitando-se congestionamento e melhorando um melhor desempenho global da mesma.

Descrevemos o MPLS como uma nova tecnologia, capaz de implementar suporte à TE em redes baseadas em IP, provendo as habilidades necessárias ao suporte de tráfego em redes baseadas em IP sem subordinar-se às limitações dos diferentes protocolos de roteamento, transporte e planos de endereçamento além da possibilidade de maximização da utilização dos recursos das redes, através do balanceamento de tráfego nos enlaces entre nós, dotando-as do processo de re-roteamento visando um maior grau de tolerância a falhas.

Concluindo, mostramos que o MPLS-TE possui vantagem em relação a Engenharia de Tráfego exercida pelos protocolos IGPs em decorrência das limitações na implementação dos

protocolos IGPs atuais, que só permitem selecionar rotas para roteamento baseando-se em pesos estáticos para cada link mostrando-se, assim, inflexível ao suporte da engenharia de tráfego em redes IP em função:

- ❑ da limitação dos cenários de distribuição;
- ❑ da não adaptação do peso do link em resposta às mudanças no tráfego ou às falhas em elementos da rede;
- ❑ do processo de escolha de rotas não está diretamente incorporado aos objetivos de performance.

Enfim, o trabalho não só apresenta que o MPLS-TE incorpora importantes ganhos em desempenho de rede como, também, abre a possibilidade de futuros estudos a respeito.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P, Apostila de ATM, MPLS e QoS do Curso de Pós-Graduação em Gerência de Redes e Tecnologia Internet, UFRJ, 2005
- AWDUCHE, D. et al, RFC 2702 Requirements for Traffic Engineering Over MPLS, 1999
- AWDUCHE, D. et al, RFC 3272 Overview and Principles of Internet Traffic Engineering, 2002
- AWDUCHE, D. et al, RFC-3346 Applicability Statement for TE with MPLS, 2002
- AWDUCHE, D., JABBARI, B. Internet Traffic Engineering Using Multi-Protocol Label Switching, Journal of Computer Networks (Elsevier Science), Vol. 40, Issue (1), September 2002.
- AWDUCHE, D. et al., - Internet Draft draft-ietf-mpls-rsvp-lsp-tunnel 08.txt: RSVP-TE: Extensions to RSVP for LPS Tunnel, February 2001.
- ALVES, M., Como Escrever Teses e Monografias: um roteiro passo a passo, Rio de Janeiro (ed.) Elsevier, 2003
- BISOL, B. et al, Um Estudo da Arquitetura MPLS, UFSC, 2000
- BUENO, M., A Internet, São Paulo (ed.) PubliFolha, 2000
- CASTRO, C. M., A Prática da Pesquisa, São Paulo, (ed.) McGraw Hill, 1978
- COMER, Douglas E., Interligação em redes com TCP/IP, (ed.) Elsevier, 1998.
- CORREIA, Reinaldo de B. et al, A Viabilidade do Rerroteamento Pró-Ativo em Redes MPLS usando Tecnologia Ativa (Anais do Congresso SBRC 2003)
- CRESWELL, J. H., Research design: qualitative & quantitative approaches, Thousand Oaks, Sage, 1994
- DAVID, F, Apostila de TCP/IP do Curso de Pós-Graduação em Gerência de Redes e Tecnologia Internet, UFRJ, 2005
- DIAS,R. et al, Otimização Lagrangeana em Engenharia de Tráfego para Redes IP sobre MPLS, UFSC, 2001
- E-CONSULTING CORPORATION, [www.e-consultingcorp.com.br](http://www.e-consultingcorp.com.br), Acesso em: 01 maio 2005
- GUILLÉN, A. MPLS-DS Uma Plataforma para validação de políticas no Contexto das Redes MPLS-DiffServ (Dissertação de Mestrado, UNICAMP,2001)
- KAMIENSKI et al, Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Diferenciados, UFPE, s.d
- KATZ,D et al, RFC 3630 Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF (Version 2), 2003

- KUROSE, James F. ; ROSS Keith W, Redes de Computadores e a Internet, (ed.) Pearson, 2003
- LUCKESI, C. C. et al, Fazer Universidade, São Paulo, (ed.) Cortez, 1986
- OSBORNE, Eric; SIMBA Ajay, Engenharia de Tráfego com MPLS, (ed.) Campus, 2003.
- PEIXOTO, João Carlos, Apostila de Programação de Roteadores do Curso de Pós-Graduação em Gerência de Redes e Tecnologia Internet, UFRJ, 2005
- PEREIRA, Tatiana Brito, Uma Estratégia de Roteamento OSPF Adaptativo Baseado em Estimação de Banda, Universidade Estadual de Campinas, 2004
- PINHEIRO, Ana Júlia Freitas et al, Em Estudo do MPLS e sua Importância para o REMAv, Projeto Redes Metropolitanas de Alta Velocidade – REMAv - Centro de Processamento de Dados – UFBA, Abril 2000
- PULLEY, Robert, CHRISTENSEN, Peter, A Compararison of MPLS Traffic Engeneering Initiatives – NetPlane System, Inc, 2000
- ROSEN,E et al, RFC 3031 Multiprotocol Label Switching Architecture, 2001
- RESENDE, R. Roteamento de Tráfego Adaptativo Baseado em Caminho Mínimo em Redes MPLS, (Dissertação de Mestrado,UNICAMP), s.d.
- SILVA, M.F.; DIAS, D.S.; Intenção de Uso de Tecnologia de Informação: um estudo sobre a influência do contexto social em uma empresa do setor acadêmico brasileiro, Anais do XXXIX CLADEA, 2004.
- SIQUEIRA, M. de Uma arquitetura de Políticas para Gerência de Redes MPLS (Dissertação de Mestrado, UNICAMP,2002)
- SOARES, Luis F. G;LEMOES Guido; COLCHER Sérgio, Redes de Computadores, (ed.) Campus, 1995
- SOUSA, Lindeberg B., TCP/IP Básico e Conectividade em Redes, (ed.) Érica, 2002
- TANEMBAUM, Andrew S., Redes de Computadores, (ed.) Campus, 2003
- VERGARA, Sylvia Constant, Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração, São Paulo, (ed.) Atlas 1997
- WILL, Robert et al, Estudo Experimental da Tecnologia MPLS: Avaliação de Desempenho Qualidade de Serviço e Engenharia de Tráfego (Universidade de Santa Catarina – Núcleo de Redes de Alta Velocidade e Computação de Alto Desempenho), s.d.
- YIN, R. K., Aplications of Case Study Research, Newbury Park, (ed.) Sage,1994
- CYVEILLANCE, INC., [www.cyveillance.com](http://www.cyveillance.com), Acesso em: 25 março 2005